

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-297234  
 (43)Date of publication of application : 31.08.2001

(51)Int.CI

H01L 21/3065  
 H05H 1/00  
 H05H 1/46  
 // H01L 21/205

(21)Application number : 2000-048934  
 (22)Date of filing : 21.02.2000

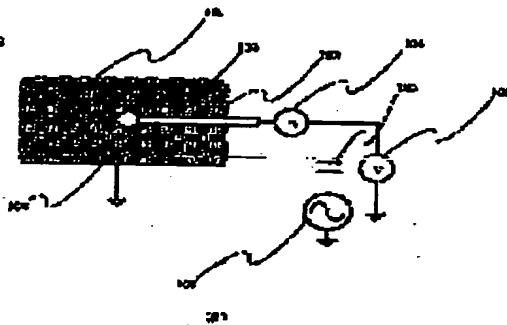
(71)Applicant : HITACHI LTD  
 (72)Inventor : TAMURA HITOSHI  
 KADOYA MASAHIRO  
 WATANABE SEIICHI

## (54) PLASMA TREATMENT APPARATUS AND TREATMENT METHOD

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To make it possible to solve a problem that a reactive product in plasma is attached to a surface of a probe, and a plasma characteristic can not be measured correctly in a conventional measuring technique, in which a DC voltage is applied to the probe for plasma characteristic measurement, a current carried from plasma is measured, and plasma characteristics are measured from the current/voltage characteristics.

**SOLUTION:** The plasma treatment apparatus includes a probe mounted in plasma to be measured, a high frequency power supply for applying a high frequency to the plasma, a voltmeter for measuring the voltage in the probe, an ammeter for measuring the high frequency current carried in the probe, and a data processor for estimating the plasma characteristics from the high frequency current/voltage. By using the high frequency current/voltage characteristics instead of DC current/voltage characteristics, plasma measurement can be carried out with small influence from outer disturbance that is hardly affected by a disturbance in surface conditions of the probe.



## LEGAL STATUS

- [Date of request for examination]
- [Date of sending the examiner's decision of rejection] .....
- [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
- [Date of final disposal for application] .....
- [Patent number]
- [Date of registration]
- [Number of appeal against examiner's decision of rejection]
- [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
- [Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2003 Japan Patent Office

<http://www19.ipdl.nclpl.go.jp/PAJ/result/detail/main/wAAAD1ayB3DA413237234...> 2004/10/01

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

## [Claim(s)]

[Claim 1] The substrate electrode for laying a processed substrate in the processing room and this processing interior of a room which have the source of the plasma, a gas supply system, and an evacuation system, In plasma treatment equipment equipped with the RF generator for adding high frequency bias to a processed substrate through this substrate electrode The probe section inserted into the plasma of said processing interior of a room, and the RF generator which supplies high-frequency voltage to this probe section. Plasma treatment equipment characterized by having the plasma property metering device which consists of a voltmeter which measures the high-frequency voltage of this probe section, and an ammeter which measures the high frequency current which flows into the plasma through this probe section.

[Claim 2] Plasma treatment equipment characterized by sharing the power source which supplies high frequency to the probe section inserted into said plasma in plasma treatment equipment according to claim 1 with the RF generator which supplies high frequency bias to a processed substrate.

[Claim 3] Plasma treatment equipment characterized by using in plasma treatment equipment according to claim 2 as the probe section which inserts said processed substrate or said substrate electrode into the plasma.

[Claim 4] The substrate electrode for laying a processed substrate in the processing room and this processing interior of a room which have the source of the plasma, a gas supply system, and an evacuation system, The probe section which is the art of the substrate using the plasma in plasma treatment equipment equipped with the RF generator for adding high frequency bias to a processed substrate through this substrate electrode, and is inserted into said plasma. The RF generator which supplies high-frequency voltage to this probe section, and the voltmeter which measures the high-frequency voltage of this probe section. Said high-frequency voltage and said high frequency current are measured with the plasma property metering device which consists of an ammeter which measures the high frequency current which flows into the plasma through this probe section. The art of the substrate using the plasma characterized by presuming a plasma property from this electrical potential difference and the measured value of a current, and supervising the situation of the plasma under etching.

[Claim 5] The art of the substrate characterized by presuming a plasma property by fitting [ this high-frequency voltage, and this high frequency current / the parameter of the plasma model which consists of a circuit element ] in the art of a substrate according to claim 4.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DETAILED DESCRIPTION

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the art using the plasma treatment equipment and it which perform plasma treatment to a processed substrate, and relates to what measures a plasma property and supervises the quality of the processing especially.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, there is an approach called the Langmuir probe method which measures the consistency of the plasma, electron temperature, etc. by loading a probe into the plasma and measuring the direct-current-volt ampere characteristic about the measurement approach of a plasma property as indicated by "Plasma Diagnostics Volume 1" (the volume Orlando Anciello and on Daniel L. Flamm, Academic Press \*\*); Moreover, as indicated by JP,08-108992,A, in manufacture of ULSI etc., processing by the dry etching system using the plasma is performed. In order to supervise the quality of plasma treatment at this process, the monitor of the conditions, such as luminescence of the plasma, is carried out, and there is a method of performing maintenance services, such as a parts replacement, efficiently by grasping a device status.

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] By the Langmuir probe method of the above-mentioned conventional technique, the insulating resultant formed in the plasma may adhere to a probe front face. The stable measurement becomes difficult in order to check that a direct current flows to a probe with this resultant.

[0004] Moreover, it was difficult for a resultant to adhere to the aperture front face for taking out plasma: luminescence in the processing outdoor section, for example, or to be to stabilize problems, like an aperture can be deleted according to an operation of the ion in the plasma etc., and to supervise a device status about the monitor of plasma treatment quality, among the above-mentioned conventional techniques. In plasma treatment equipment, the technical problem which this invention tends to solve will be boiled, if the measurement approach which enables measurement of a plasma property is offered even if there is adhesion of a resultant etc.

[0005] Moreover, other technical problems of this invention are to offer the small monitor approach of the disturbance given to plasma treatment in the device-status monitor of plasma treatment equipment.

[0006]

[Means for Solving the Problem] The processing room where this invention has the source of the plasma, a gas supply system, and an evacuation system. In plasma treatment equipment equipped with the RF generator for adding high frequency bias to a processed substrate through the substrate electrode for laying a processed substrate in this processing interior of a room; and this substrate electrode The probe section inserted into the plasma of said processing interior of a room, and the RF generator which supplies high-frequency voltage to this probe section, It is characterized by having the plasma property metering device which consists of a voltmeter which measures the high-frequency voltage of this probe section, and an ammeter which measures the high frequency current which flows into the plasma through this probe section.

[0007] According to this invention, the above-mentioned technical problem impresses high-frequency power to the probe for plasma measurement, and can solve it by measuring a plasma property from the volt ampere characteristic. Moreover, the above-mentioned technical problem is solvable by measuring a plasma property with the probe which impressed high-frequency power in plasma treatment equipment. Moreover, disturbance given to plasma treatment by measurement of the electrical-potential-difference current of a RF used for plasma treatment can be made small.

[0008] According to this invention, a plasma property can be measured from the high-frequency voltage current characteristic of a probe measuring the thickness of a probe and the sheath formed in a plasma interface, and by presuming the direct-current-voltage current characteristic of a probe. Even if a probe front face is covered with an insulating resultant since the high frequency current flows through a capacitive impedance, measurement of a plasma property is possible.

[0009] This invention is the dry etching process of a substrate of having used the plasma among the production processes of a semiconductor integrated circuit, and can be used for supervising the situation of the plasma under etching. Since the condition of an etching processor can be quantitatively evaluated by supervising the plasma, it is useful to stable operation of an etching processor and the early detection of the abnormalities in equipment.

[Embodiment of the Invention] The 1st example of this invention is explained using drawing 3 from drawing 1 below the [example 1]. First, the measuring circuit of the plasma property metering device which used this invention for drawing 1 is shown. The spherical probe 102 is loaded into the plasma 101 used as the measuring object. The plasma 101 shall be grounded through the ground electrode 108 which has a big area compared with the surface area of a probe 102. A probe 102 is a product made from stainless steel. The configuration of a probe 102 may not be limited to a ball and may be other configurations, such as a plate and a cylinder. Moreover, the construction material of a probe 102 may also be copper, aluminum, etc., as long as conductivity is high and its thermal resistance is high.

[0011] RF generator 107 which supplies high-frequency power is connected to the probe 102 through the capacitor 105 and the electric wire 103 with which the front face was insulated with the alumina ceramic etc. The voltmeter 106 for furthermore measuring the electrical potential difference of a probe 102 and a current and the ammeter 104 are connected. Insulating materials, such as an alumina ceramic of electric-wire 103 front face, are used in order to make it the high frequency current which flows by RF generator 107 flow to the plasma 101 through a probe 102. The RF current potential property of the plasma is measured in this measuring circuit.

[0012] Next, how to presume a plasma property from a high-frequency-voltage current characteristic is explained. Generally compared with the impedance of a bulk part, the impedance of plasma of a sheath part is high, and since the property of a probe and the sheath produced in the interface of the plasma appears in the volt ampere characteristic, the plasma corresponding to drawing 1 is modeled in consideration of a sheath part in the measuring circuit shown in drawing 1. The high frequency current in the plasma is borne with an electron with mainly small mass. Therefore, the ion sheath with an electronic low consistency is modeled as a capacitor in high frequency. Moreover, according to an electrical potential difference, a model is made with an electron and the current source to which ion bears a current in direct current. Moreover, the capacity and a current change depending on high-frequency voltage in a capacitor and a current source. Therefore, the measuring circuit which the sheath section is modeled as a parallel circuit of capacity and a current source, and is shown in drawing 1 is modeled as shown in (a formula 1).

[0013]

[Equation 1]

$$I = C(V) \frac{dV}{dt} + D(V) \quad (\text{式 1})$$

I : 高周波電流

V : 高周波電圧

C (V) : シース容量

D (V) : シース電流源

[0014] The property of the high frequency voltage of a measurement result, the sheath capacity calculated from the high-frequency-voltage current which measured the high frequency current to drawing 2 according to (the formula 1), and the source of the sheath current is shown in drawing 3. The electrical potential difference with a frequency of 800kHz was applied to the probe.

[0015] The value of the high frequency current counted backward from sheath capacity and the source of the sheath current is also doubled and shown in drawing 2. The procedure of property calculation of sheath capacity and the source of the sheath current is shown below.

(1) Assume the sheath capacity C (V) and the property of the source D of the sheath current (V). It asks for high-frequency-current I according to (2) and (a formula 1).

(3) Search for the measured high frequency current I and the square error epsilon of I searched for by (2).

(4) Search for the sheath capacity C of epsilon (V), and the inclination over the source D of the sheath current (V), and correct the sheath capacity C (V) and the property of the source D of the sheath current (V) in the direction which makes epsilon small.

It returns to (5) and (2). A procedure is ended in the place where epsilon became sufficiently small.

[0016] It is expressed that sheath capacity is indicated by "the electronic communication link handbook (volume for IEC, Ohm-Sha (Showa 54))" by sheath thickness and sheath area like (a formula 2).

[0017]

[Equation 2]

$$C = \frac{\epsilon S}{d} \quad (\text{式 2})$$

C : シース容量

d : シース厚さ

ε : 真空の誘電率

[0018] moreover, it is known that it is thickness extent called a debye length as sheath thickness is indicated by "a guide to plasma physics" (a Tajiyo Uchida translation, Maruzen \*\*\*\*\*) (formula 3) — it can express like.

[0019]

[Equation 3]

$$\lambda_d = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k_B T_e}{ne^2}} \quad (\text{式 3})$$

$\lambda_d$  : デバイ長

$\epsilon_0$  : 真空の説電率

$k_B$  : ボルツマン定数

$T_e$  : 電子温度

$n$  : 電子密度

$e$  : 電子の電荷量

[0020] A plasma consistency can be presumed by using (a formula 2) and (a formula 3) from sheath capacity.

[0021] Similarly, plasma properties, such as a plasma consistency and electron temperature, can be known from a sheath current property as indicated by "Plasma Diagnostics Volume 1" (the volume Orlando Anciello and on Daniel L. Flamm, Academic Press \*\*).

[0022] Furthermore, since it can ask for a plasma consistency from sheath capacity and a sheath current property, respectively, the surface state of a probe can be presumed. For example, although a property will change as apparent sheath thickness increased if an insulating material adheres to a probe front face, it is hard to come out of effect to a sheath current property. Then, the surface state of a probe can be presumed using the difference among both. It can consider as rules of thumb, such as for example, a cleaning stage, according to the surface state of a probe.

[0023] Although sheath capacity explained the example as a plasma model with the model which changes with electrical potential differences, it can also simplify to the plasma model from which sheath capacity does not change. Moreover, although considered as the model which paid its attention only to the sheath section as mentioned above as a plasma model, in addition to the parallel circuit of the capacity showing the sheath section, and a current source, resistance can also be used as the model linked to a serial in consideration of resistance of the bulk plasma.

[0024] A probe front face can also be beforehand covered with an insulating material. In this case, since direct-current potential does not become settled in case a plasma property is searched for from the property of an armature-voltage control current source, although plasma potential is uncomputable, it can count backward from the plasma consistency computed from sheath capacity, and direct-current potential can be defined eventually.

[0025] [An example 2], next the 2nd of this invention — the 4th example are explained using drawing 6 from drawing 4. These examples are examples which applied the plasma measurement approach and equipment which were shown in the example 1 to plasma treatment equipment. The etching system which used this invention for drawing 6 is shown. The interior of the processing room 602 where the gas supply system which is not illustrated and the evacuation system were connected is made to generate the plasma by the source 601 of the plasma. The substrate electrode 608 which laid the processed substrate 607 is installed in the processing room 602. RF generator 611 is connected to the substrate electrode 608 through the adjustment machine 610 and the blocking capacitor 609, and high frequency bias voltage can be applied to a processed substrate. Moreover, a probe 603 is loaded in the processing interior of a room, and the source 606 of a RF signal is connected through the blocking capacitor 612. Moreover, the voltmeter 605 for measuring the ammeter 604 for measuring the current which flows to a probe 603, and an electrical potential difference is connected. A plasma property can be presumed by the approach explained in the example 1 using the measurement value of a voltmeter 605 and an ammeter 604.

[0026] If the electrical potential difference changed in time to the substrate electrode 608 by the RF by RF generator 611 is applied, direct-current bias potential will arise by the electron in the plasma, and the difference in the mobility of ion. Usually, bias of the substrate electrode is carried out to negative, and the cation in the plasma is regularly turned to the processed substrate 607, and it accelerates. An anisotropy is processible with this ion.

[0027] It is good also considering the source of a signal which impresses high frequency to a probe as the configuration of the example of drawing 6 is shown in drawing 5 as an example simplified more, and the power source which applies high frequency bias voltage to a substrate as same RF generator 504. In addition, in 501, an ammeter and 503 show a voltmeter and, as for a probe and 502, 505 shows a processed substrate.

[0028] A probe 603 (501) can make the configuration of a part of contacting the plasma a globular shape, discoid, and the configuration that the surface area of cylindrical \*\* tends to compute geometrically. The line which supplies electric power to a probe 501 in a RF has coaxial structure so that a RF may not leak to the plasma. It is covered with insulating materials, such as an alumina ceramic, in order that a coaxial outer conductor may furthermore prevent connecting with the direct plasma electrically and changing plasma potential to it. Moreover, it is good also

considering the configuration of a probe 603 as the shape of a ring. Thereby, probe structure can be made into outline axial symmetry. When taking structure with the whole etching system symmetrical with an outline shaft, it can prevent that plasma distribution serves as non-axial symmetry by the disturbance by probe loading by arranging the ring-like probe 603 to the processing interior of a room according to the medial axis. Moreover, the conductive matter which the problem of contamination, a foreign matter, etc. cannot produce easily according to etched material as construction material of a probe 603 can be used. For example, when etching a conductive ingredient, problems, such as contamination, can be avoided by using the same conductive ingredient. Moreover, silicon may be used when a processed substrate is silicon.

[0029] In order to secure the homogeneity within a field of a processed substrate, the member called a focal ring to the periphery-section of a processed substrate may be installed. Usually, in etching processing, the field interior division cloth of a resultant affects the homogeneity within a field. Equalization of resultant distribution in the processed substrate periphery section can be attained with a focal ring, and the homogeneity within a field of etching processing can be secured. When this focal ring has conductivity, the volt ampere characteristic of a focal ring can be measured and it can use as a probe.

[0030] Moreover, as the configuration of the example of drawing 6 is shown in drawing 4 as an example simplified further, it may change to a probe and a substrate electrode may be used as a probe. The interior of the processing room 402 where the gas supply system which is not illustrated and the evacuation system were connected is made to generate the plasma by the source 401 of the plasma. The substrate electrode 404 which laid the processed substrate 403 is installed in the processing room 402. RF generator 409 is connected to the substrate electrode 404 through the adjustment machine 408 and the blocking capacitor 407, and high frequency bias voltage can be applied to a processed substrate. The voltmeter 406 for measuring the potential of the ammeter 405 for measuring the current which flows to the substrate electrode 404 by RF generator 409, and a substrate electrode is connected to the substrate electrode 404.

[0031] The condition of an etching system can be known with the plasma property presumed from the high-frequency voltage current characteristic measured using the probe, or there. Since a device status can be evaluated quantitatively, degradation of equipment, aging, etc. can be supervised.

[0032] The process which carries out dry etching processing of the processed substrate among the production processes of a semiconductor integrated circuit is needed about 10 seconds of numbers per substrate in many cases. The consistency of a resultant is high while etched material and the active species (it is called etchant below.) which reacts decrease by the reaction during etching. Since etched material is mostly removed when etching is completed mostly, the consistency of a resultant is low and the consistency of etchant becomes high relatively. Parameters, such as a consistency of the plasma and temperature, also change with time amount progress of such etching processings. The high-frequency voltage current characteristic of each time of day can be recorded from etching processing initiation, and the plasma parameter change under etching can be caught from this property.

[0033] The fluctuation accompanying etching processing of the high-frequency-current voltage characteristic and a plasma parameter can be recorded, and the abnormalities in equipment can be discovered at an early stage by comparing this with record when equipment is normal. Moreover, in early stages of etching, under etching, just before etching termination, etc. can determine time of day, and, thereby, can also judge the condition of equipment. Since the condition of equipment can be supervised, the operation by which equipment was stabilized is attained.

[0034]

[Effect of the Invention] According to this invention, stable operation of plasma treatment equipment can be enabled by applying the plasma metering device which cannot be easily influenced of the disturbance by the resultant in the plasma etc. adhering to a probe etc. to the plasma treatment equipment for manufacturing a semiconductor integrated circuit etc.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

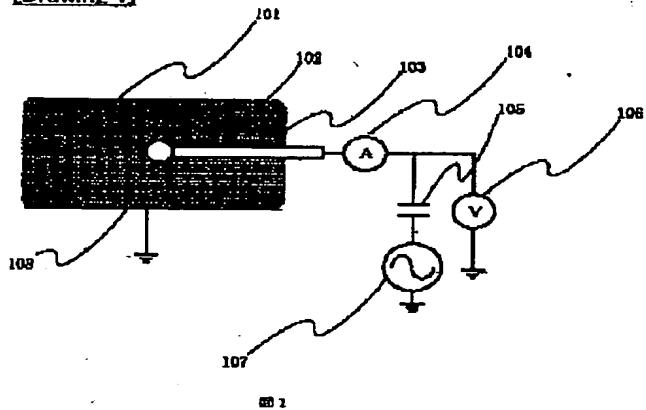
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \* \* \* \* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DRAWINGS

---

## [Drawing 1]



回路 2

## [Drawing 2]

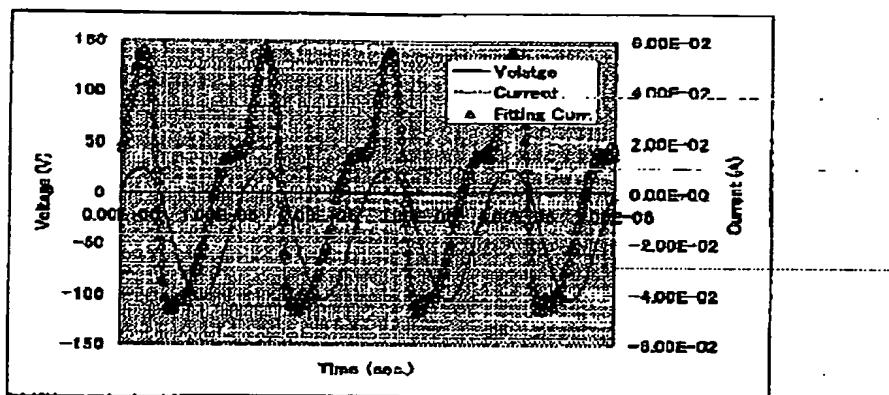


図 2 a

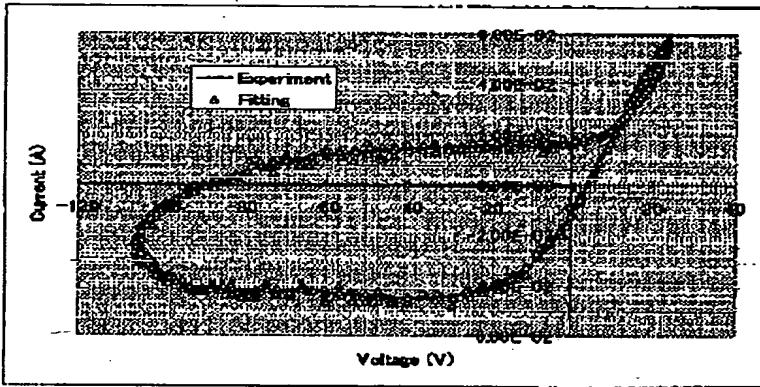


図 2 b

[Drawing 4]

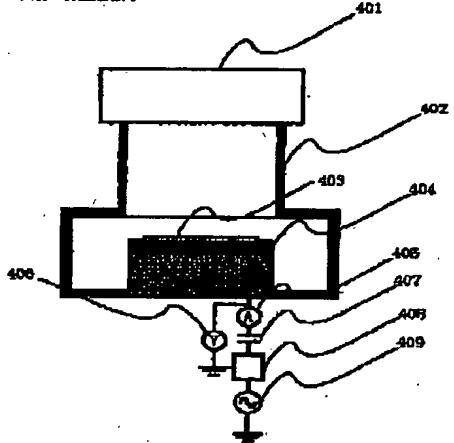


図 4

[Drawing 5]

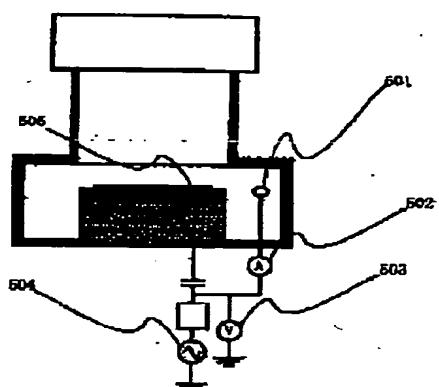


図 5

[Drawing 3]

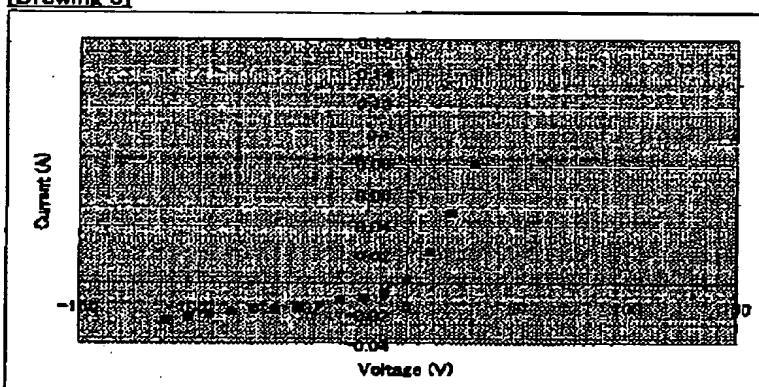


図 3 a

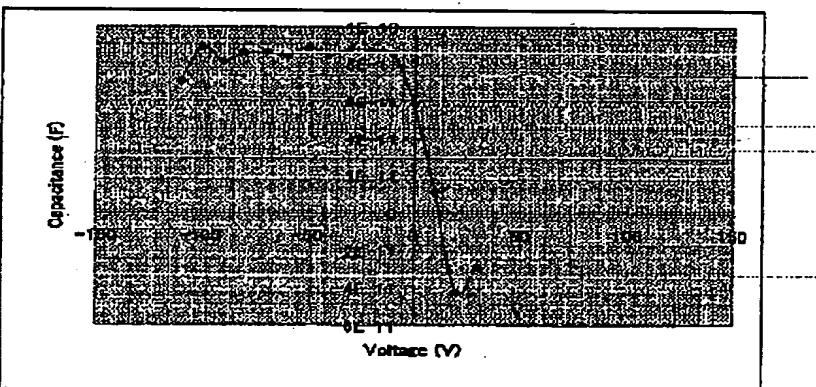


図 3 b

[Drawing 6]

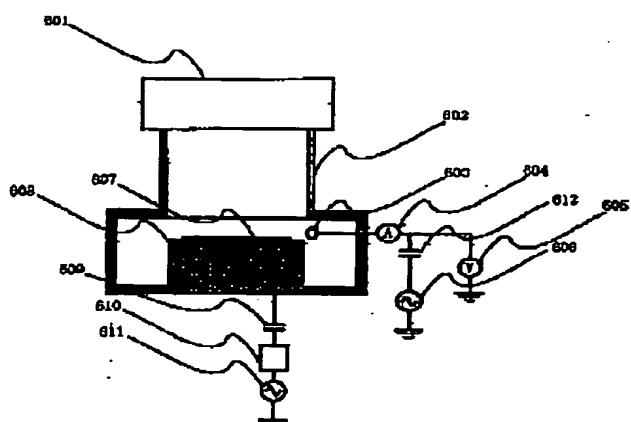


図 6

---

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-237234

(P2001-237234A)

(43)公開日 平成13年8月31日 (2001.8.31)

(51)Int.Cl.  
H 01 L 21/3065  
H 05 H 1/00  
1/46  
// H 01 L 21/205

識別記号

F I  
H 05 H 1/00  
1/46  
H 01 L 21/205  
21/302

テマコト(参考)  
A 5 F 0 0 4  
A  
B

審査請求 未請求 請求項の数 5 OL (全 8 頁)

(21)出願番号 特願2000-48934(P2000-48934)

(22)出願日 平成12年2月21日 (2000.2.21)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所  
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 田村 仁

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日  
立製作所機械研究所内

(72)発明者 角屋 誠浩

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会  
社日立製作所笠戸事業所内

(74)代理人 100074631

弁理士 高田 幸彦 (外1名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラズマ処理装置及びそれを用いた処理方法

(57)【要約】

【課題】 プラズマ特性を計測するためにプローブに直流電圧を加え、プラズマから流れる電流を測定し、その電流電圧特性からプラズマ特性を計測する従来技術があるが、プラズマ中の反応生成物がプローブ表面に付着するため正しくプラズマ特性を計測できない場合があるという問題があった。

【構成】 被計測対象であるプラズマ中に装荷されたプローブ、このプローブに高周波を印加するための高周波電源、プローブの電圧を測定する電圧計、プローブに流れる高周波電流を測定する電流計、高周波電流電圧からプラズマ特性を推定するデータ処理機からなる。直流電圧電流特性に換えて高周波電圧電流特性を用いることで、プローブ表面の状態変動の外乱を受け難いプラズマ計測が可能となる。

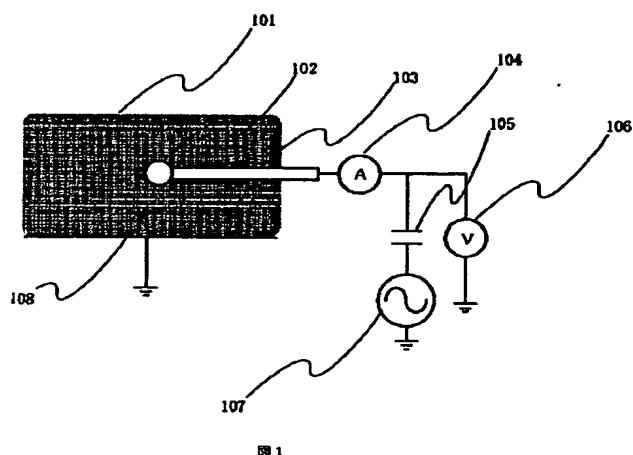


図1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラズマ源、ガス供給系および真空排気系を有する処理室、該処理室内に被処理基板を載置するための基板電極、該基板電極を介して被処理基板に高周波バイアスを加えるための高周波電源を備えたプラズマ処理装置において、前記処理室のプラズマ中に挿入するプローブ部と、該プローブ部に高周波電圧を供給する高周波電源と、該プローブ部の高周波電圧を測定する電圧計と、該プローブ部を介してプラズマに流入する高周波電流を測定する電流計からなるプラズマ特性計測装置を備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】 請求項1記載のプラズマ処理装置において、前記プラズマ中に挿入するプローブ部に、高周波を供給する電源を被処理基板に高周波バイアスを供給する高周波電源と共に用することを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項3】 請求項2記載のプラズマ処理装置において、前記被処理基板または前記基板電極をプラズマ中に挿入するプローブ部として用いることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項4】 プラズマ源、ガス供給系および真空排気系を有する処理室、該処理室内に被処理基板を載置するための基板電極、該基板電極を介して被処理基板に高周波バイアスを加えるための高周波電源を備えたプラズマ処理装置における、プラズマを用いた基板の処理方法であつて、

前記プラズマ中に挿入するプローブ部と、該プローブ部に高周波電圧を供給する高周波電源と、該プローブ部の高周波電圧を測定する電圧計、該プローブ部を介してプラズマに流入する高周波電流を測定する電流計からなるプラズマ特性計測装置により前記高周波電圧及び前記高周波電流を測定し、

該電圧、電流の測定値からプラズマ特性を推定し、エッティング中のプラズマの状況を監視することを特徴とするプラズマを用いた基板の処理方法。

【請求項5】 請求項4記載の基板の処理方法において、該高周波電圧、該高周波電流を回路素子からなるプラズマモデルのパラメータにフィッティングすることでプラズマ特性を推定することを特徴とする基板の処理方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、被処理基板にプラズマ処理を施すプラズマ処理装置及びそれを用いた処理方法に係り、特に、プラズマ特性を計測してその処理の品質を監視するものに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、プラズマ特性の計測方法について、例えば「Plasma Diagnostics Volume 1」(Orlando Anciell 50

o, Daniel L. Flamm 編、Academic Press刊)に開示されたように、プラズマ中にプローブを装荷してその直流的な電圧電流特性を測定することでプラズマの密度、電子温度等を測定するラングミュアプローブ法と呼ばれる方法がある。また特開平08-106992号公報に開示されたようにULSI等の製造においてプラズマを用いたドライエッティング装置による加工が行われる。この工程でプラズマ処理の品質を監視するためにプラズマの発光等の状態をモニタし、装置状態を把握することで部品交換等の保守作業を効率よく行う方法がある。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 上記従来技術のラングミュアプローブ法では、プラズマ中で形成される絶縁性的反応生成物等がプローブ表面に付着する場合がある。この反応生成物によりプローブに直流電流が流れることを阻害するため、安定した測定が困難となる。

【0004】 また、上記従来技術のうちプラズマ処理品質の監視については、例えばプラズマ発光を処理室外部に取り出すための窓表面に反応生成物が付着する、またはプラズマ中のイオン等の作用により窓が削れるなどの問題があり、安定して装置状態を監視することが困難であった。本発明が解決しようとする課題は、プラズマ処理装置において、反応生成物等の付着があつてもプラズマ特性の計測を可能とする計測方法を提供するにある。

【0005】 また本発明の他の課題は、プラズマ処理装置の装置状態監視にあたり、プラズマ処理に与える外乱の小さい監視方法を提供することにある。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明は、プラズマ源、ガス供給系および真空排気系を有する処理室、該処理室内に被処理基板を載置するための基板電極、該基板電極を介して被処理基板に高周波バイアスを加えるための高周波電源を備えたプラズマ処理装置において、前記処理室のプラズマ中に挿入するプローブ部と、該プローブ部に高周波電圧を供給する高周波電源と、該プローブ部の高周波電圧を測定する電圧計と、該プローブ部を介してプラズマに流入する高周波電流を測定する電流計からなるプラズマ特性計測装置を備えたことを特徴とする。

【0007】 本発明によれば、上記課題は、プラズマ計測用プローブに高周波電力を印加し、その電圧電流特性からプラズマ特性を測定することで解決できる。またプラズマ処理装置において高周波電力を印加したプローブによりプラズマ特性を計測することで上記課題は解決できる。またプラズマ処理に用いる高周波の電圧電流の計測によりプラズマ処理に与える外乱を小さくできる。

【0008】 本発明によれば、プローブの高周波電圧電流特性からプローブとプラズマ界面に形成されるシースの厚さを計測すること、およびプローブの直流電圧電流

特性を推定することによりプラズマ特性を測定することができる。プローブ表面が絶縁性の反応生成物で覆われても容量性インピーダンスを介して高周波電流は流れためプラズマ特性の測定が可能である。

【0009】本発明は、例えば、半導体集積回路の製造工程のうちプラズマを用いた基板のドライエッティング工程で、エッティング中のプラズマの状況を監視することに用いることができる。プラズマを監視することにより、エッティング処理装置の状態を定量的に評価することができるため、エッティング処理装置の安定稼動、装置異常の早期発見に役立つ。

#### 【0010】

【発明の実施の形態】【実施例1】以下、図1から図3を用いて本発明の第1の実施例を説明する。まず、図1に本発明を用いたプラズマ特性計測装置の測定回路を示す。測定対象となるプラズマ101内に球状のプローブ102が装荷されている。プラズマ101はプローブ102の表面積と比べて大きな面積を持つアース電極108を介して接地されているものとする。プローブ102はステンレス鋼製である。プローブ102の形状は球に限定されるものではなく平板、円柱等他の形状であってもよい。またプローブ102の材質も、導電率が高く耐熱性の高いものであれば銅、アルミニウム等であってもよい。

【0011】プローブ102に高周波電力を供給する高周波電源107は、コンデンサ105、表面をアルミナセラミック等で絶縁された電線103を介して接続されている。さらにプローブ102の電圧、電流を測定するための電圧計106、電流計104が接続されている。電線103表面のアルミナセラミック等の絶縁物は高周波電源107によって流れる高周波電流がプローブ102を介してのみプラズマ101に流れるようにするために用いている。本測定回路でプラズマの高周波電流電圧特性を測定する。

【0012】次に、高周波電圧電流特性からプラズマ特性を推定する方法について説明する。一般にプラズマはバルク部分のインピーダンスに比べシース部分のインピーダンスが高く、図1に示した測定回路ではプローブとプラズマの界面に生じるシースの特性が電圧電流特性に現れるため図1に対応したプラズマはシース部分を考慮しモデル化される。プラズマ中の高周波電流は主に質量が小さい電子により担われる。そのため電子の密度が低いイオンシースは高周波的にコンデンサとしてモデル化される。また直流的には電圧に応じて電子とイオンが電流を担う電流源とモデル化される。またコンデンサ、電流源とも高周波電圧に依存してその容量、電流が変化する。そのためシース部は容量と電流源の並列回路としてモデル化され図1に示す測定回路は(式1)に示すようにモデル化される。

#### 【0013】

#### 【数1】

$$I = C(V) \frac{dV}{dt} + D(V) \quad (式1)$$

I : 高周波電流

V : 高周波電圧

C(V) : シース容量

D(V) : シース電流源

10 【0014】測定結果の高周波電圧、高周波電流を図2に、(式1)に従って測定した高周波電圧電流から求めたシース容量、シース電流源の特性を図3に示す。プローブには周波数800kHzの電圧を加えた。

【0015】図2にシース容量、シース電流源から逆算した高周波電流の値も合わせて示す。シース容量、シース電流源の特性算出の手順を以下に示す。

(1) シース容量C(V)、シース電流源D(V)の特性を仮定する。

(2) (式1)に従い高周波電流I'を求める。

20 (3) 測定した高周波電流Iと(2)で求めたI'の二乗誤差εを求める。

(4) εのシース容量C(V)、シース電流源D(V)に対する勾配を求め、εを小さくする方向にシース容量C(V)、シース電流源D(V)の特性を修正する。

(5) (2)に戻る。εが十分小さくなつたところで手順を終了する。

【0016】シース容量は例えば「電子通信ハンドブック(電子通信学会編、オーム社(昭和54年))」に開示されているようにシース厚さとシース面積により(式2)のように現される。

#### 【0017】

#### 【数2】

$$C = \frac{\epsilon S}{d} \quad (式2)$$

C : シース容量

d : シース厚さ

ε : 真空の誘電率

40 【0018】また、シース厚さは例えば「プラズマ物理入門」(内田岱二郎訳、丸善株式会社刊)に開示されているようにデバイ長と呼ばれる厚さ程度であることが知られており(式3)のように表現できる。

#### 【0019】

#### 【数3】

$$\lambda_d = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k_B T_e}{ne^2}} \quad (式3)$$

$\lambda_d$  : デバイ長

$\epsilon_0$  : 真空の誘電率

$k_B$  : ポルツマン定数

$T_e$  : 電子温度

$n$  : 電子密度

$e$  : 電子の電荷量

【0020】シース容量から(式2)、(式3)を用いることでプラズマ密度を推定することが出来る。

【0021】同様に、例えば「Plasma Diagnostics Volume 1」(Orlando Auciello, Daniel L. Flam編、Academic Press刊)に開示されているように、シース電流特性よりプラズマ密度、電子温度等のプラズマ特性を知ることが出来る。

【0022】さらに、シース容量およびシース電流特性からそれぞれプラズマ密度を求めることが出来るため、プローブの表面状態を推定することが出来る。例えばプローブ表面に絶縁物が付着すると見かけのシース厚さが増えたように特性が変化するが、シース電流特性には影響が出難い。そこで両者の差異を利用してプローブの表面状態を推定することが出来る。プローブの表面状態により例えばクリーニング時期等の目安とすることが出来る。

【0023】プラズマモデルとしてシース容量が電圧によって変化するモデルで実施例を説明したが、シース容量が変化しないプラズマモデルに簡略化することもできる。またプラズマモデルとして上記のようにシース部のみに着目したモデルとしたが、バルクプラズマの抵抗を考慮して、シース部を表す容量と電流源の並列回路に加えて抵抗を直列に接続したモデルとすることもできる。

【0024】プローブ表面を絶縁物であらかじめ被覆しておくこともできる。この場合電圧制御電流源の特性からプラズマ特性を求める際に直流電位が定まらないためプラズマポテンシャルが算出できないがシース容量から算出したプラズマ密度から逆算して最終的に直流電位を定めることができる。

【0025】【実施例2】次に、本発明の第2～第4の実施例を、図4から図6を用いて説明する。これらの実施例は、実施例1で示したプラズマ計測方法および装置を、プラズマ処理装置に適用した例である。図6に本発明を用いたエッティング装置を示す。図示しないガス供給系、真空排気系が接続された処理室602の内部にプラズマ源601によりプラズマを発生させる。被処理基板607を載置した基板電極608が処理室602内に設置されている。基板電極608には高周波電源611が

整合器610、ブロッキングコンデンサ609を介して接続されており、被処理基板に高周波バイアス電圧を加えることができる。また処理室内にプローブ603が装荷され、ブロッキングコンデンサ612をかいして高周波信号源606が接続されている。またプローブ603に流れる電流を計測するための電流計604、電圧を計測するための電圧計605が接続されている。電圧計605、電流計604の計測値を用いて実施例1で説明した方法によりプラズマ特性を推定することができる。

10 【0026】高周波電源611による高周波により基板電極608に時間的に変動する電圧を加えるとプラズマ中の電子とイオンの移動度の違いにより直流バイアス電位が生じる。通常基板電極が負にバイアスされ、プラズマ中の正イオンを定常的に被処理基板607に向けて加速する。このイオンにより異方性の加工を施すことができる。

【0027】図6の実施例の構成をより簡略化した実施例として、図5に示すようにプローブに高周波を印加する信号源と基板に高周波バイアス電圧を加える電源を同一の高周波電源504としてもよい。なお、501はプローブ、502は電流計、503は電圧計、505は被処理基板を示す。

【0028】プローブ603(501)は、プラズマと接触する部分の形状を球状、円盤状、円柱状等の表面積が幾何学的に算出しやすい形状とすることができる。プローブ501に高周波を給電する線路はプラズマに高周波がもれないように同軸構造となっている。さらに同軸外部導体が直接プラズマに電気的に接続してプラズマ電位を変化させることを防止するためにアルミナセラミック等の絶縁物で被覆されている。またプローブ603の形状をリング状としてもよい。これによりプローブ構造を概略軸対称とすることができます。エッティング装置全体が概略軸対称な構造をとる場合、その中心軸に合わせてリング状のプローブ603を処理室内に配置することによりプローブ装荷による外乱でプラズマ分布が非軸対称となることを防止できる。またプローブ603の材質として被エッティング材に応じて汚染、異物等の問題が生じにくい導電性物質を用いることができる。例えば導電性材料をエッティングする場合には同じ導電性材料を用いることで汚染等の問題を避けることができる。また被処理基板がシリコンである場合にシリコンを用いてもよい。

【0029】被処理基板の面内均一性を確保するために被処理基板の外周部にフォーカスリングと呼ばれる部材を設置する場合がある。通常エッティング処理において反応生成物の面内分布が面内均一性に影響を与える。フォーカスリングにより被処理基板外周部での反応生成物分布の均一化を図りエッティング処理の面内均一性を確保することができる。このフォーカスリングが導電性を持つ場合、フォーカスリングの電圧電流特性を測定し、プローブとして用いることができる。

【0030】また、図6の実施例の構成をさらに簡略化した実施例として、図4に示すようにプローブに替えて基板電極をプローブとして用いてもよい。図示しないガス供給系、真空排気系が接続された処理室402の内部にプラズマ源401によりプラズマを発生させる。被処理基板403を載置した基板電極404が処理室402内に設置されている。基板電極404には高周波電源409が整合器408、ブロッキングコンデンサ407を介して接続されており、被処理基板に高周波バイアス電圧を加えることができる。高周波電源409により基板電極404に流れる電流を計測するための電流計405、基板電極の電位を計測するための電圧計406が基板電極404に接続されている。

【0031】プローブを用いて測定された高周波電圧電流特性やそこから推定したプラズマ特性により、エッチング装置の状態を知ることができる。装置状態を定量的に評価できるため、装置の劣化、経時変化等を監視できる。

【0032】半導体集積回路の製造工程のうち被処理基板をドライエッチング処理する工程は基板1枚あたり数十秒程度必要とすることが多い。エッチング中には被エッチング材と反応する活性種（以下エッチャントと呼ぶ。）が反応により減少する一方で反応生成物の密度が高くなっている。エッチングがほぼ終了するころには被エッチング材はほぼ除去されているため反応生成物の密度は低く、エッチャントの密度が相対的に高くなる。こういったエッチング処理の時間経過に伴い、プラズマの密度、温度等のパラメータも変化する。エッチング処理開始から各時刻の高周波電圧電流特性を記録し、この特性からエッチング中のプラズマパラメータ変化を捉えることができる。

【0033】高周波電流電圧特性、プラズマパラメータのエッチング処理に伴う変動を記録し、これを装置が正常な場合の記録と比較することにより装置異常を早期に発見することができる。またエッチングの初期、エッチング中、エッチング終了直前等、時刻を決め、これにより装置の状態を判定することもできる。装置の状態を監視できるため、装置の安定した稼動が可能となる。

【0034】

【発明の効果】本発明によれば、プラズマ中の反応生成物等がプローブに付着する等による外乱の影響を受け難いプラズマ計測装置を、半導体集積回路等を製造するためのプラズマ処理装置に適用することにより、プラズマ\*

\*処理装置の安定稼動を可能とすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を用いたプラズマ計測装置を示す説明図。

【図2】プローブの高周波電圧電流特性を示すグラフ。

【図3】プラズマ特性の推定結果を示すグラフ。

【図4】本発明を用いたプラズマ処理装置の一実施例の断面図。

【図5】本発明を用いたプラズマ処理装置の他の実施例の断面図。

【図6】本発明を用いたプラズマ処理装置の他の実施例の断面図。

【符号の説明】

10 101. . . . . プラズマ

102. . . . . プローブ

103. . . . . 電線

104. . . . . 電流計

105. . . . . コンデンサ

106. . . . . 電圧計

107. . . . . 高周波電源

108. . . . . アース電極

401. . . . . プラズマ源

402. . . . . 処理室

403. . . . . 被処理基板

404. . . . . 基板電極

405. . . . . 電流計

406. . . . . 電圧計

407. . . . . ブロッキングコンデンサ

408. . . . . 整合器

409. . . . . 高周波電源

504. . . . . 高周波電源

601. . . . . プラズマ源

602. . . . . 処理室

603. . . . . プローブ

604. . . . . 電流計

605. . . . . 電圧計

606. . . . . 高周波信号源

607. . . . . 被処理基板

608. . . . . 基板電極

609. . . . . ブロッキングコンデンサ

610. . . . . 整合器

611. . . . . 高周波電源

612. . . . . ブロッキングコンデンサ

【図1】

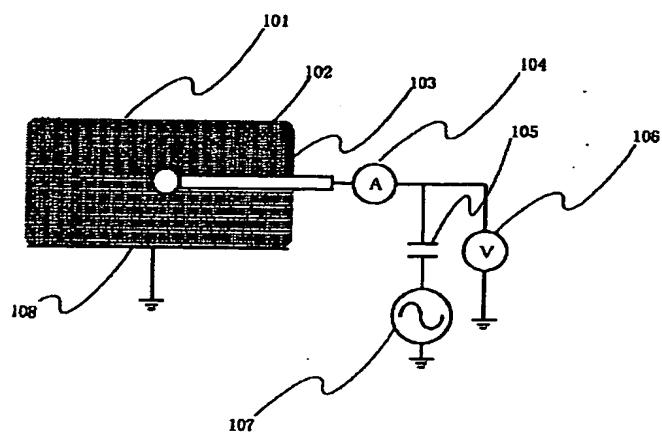


図1

【図4】

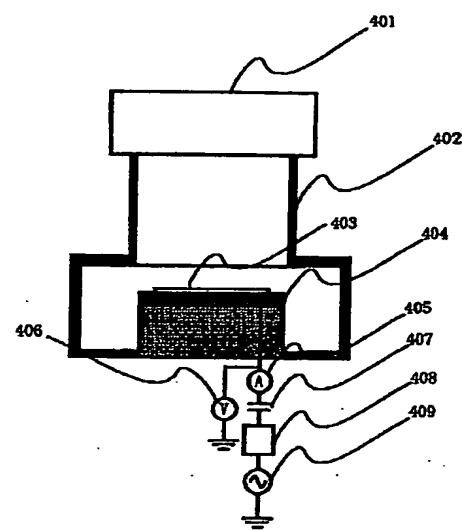


図4

【図2】

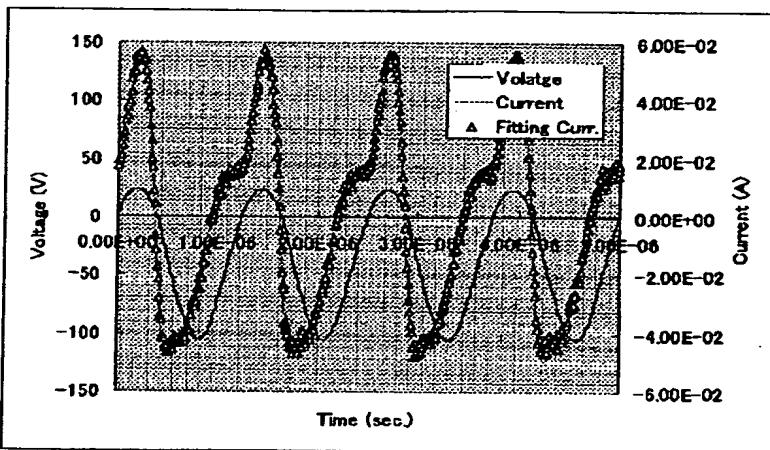


図2 a

【図5】

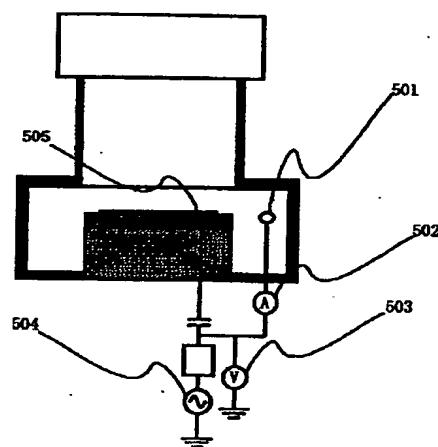


図5

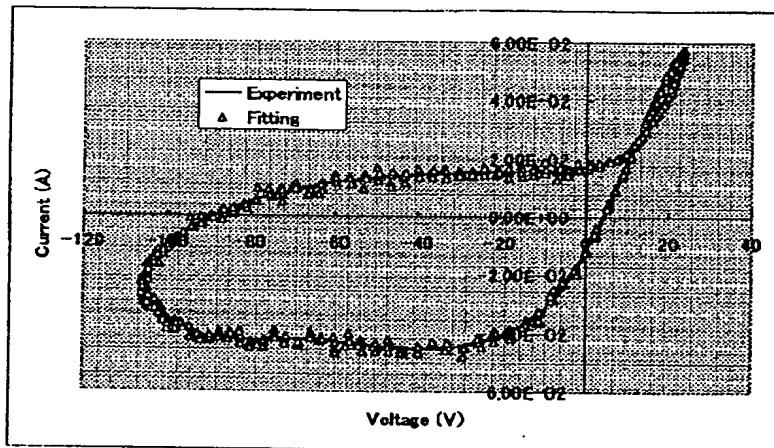


図2 b

【図3】

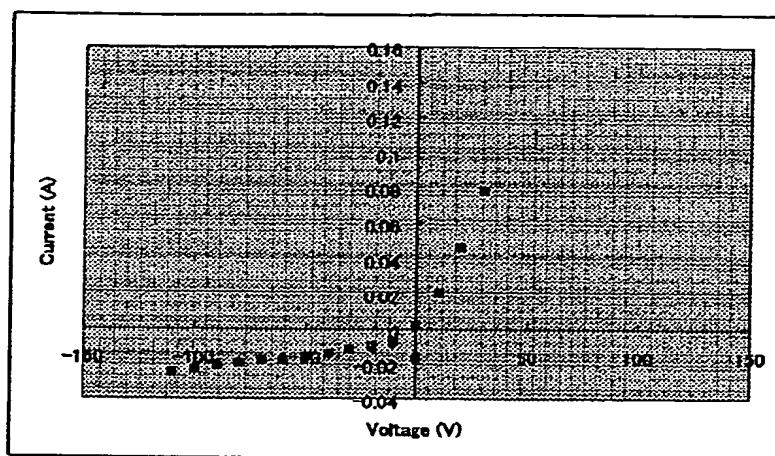


図3a

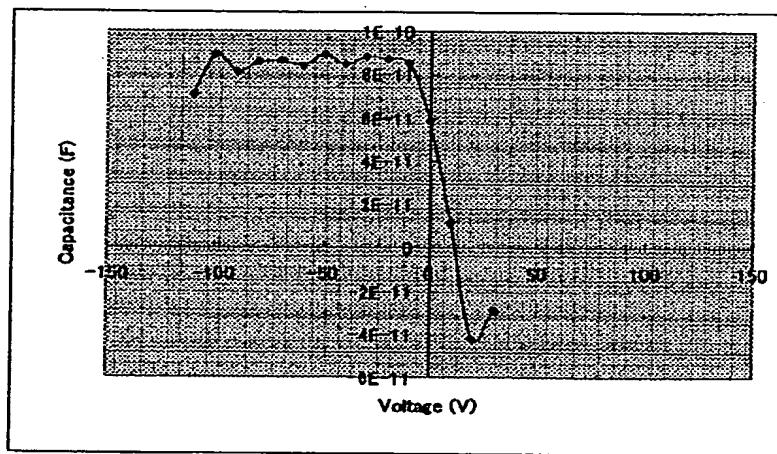


図3b

【図6】

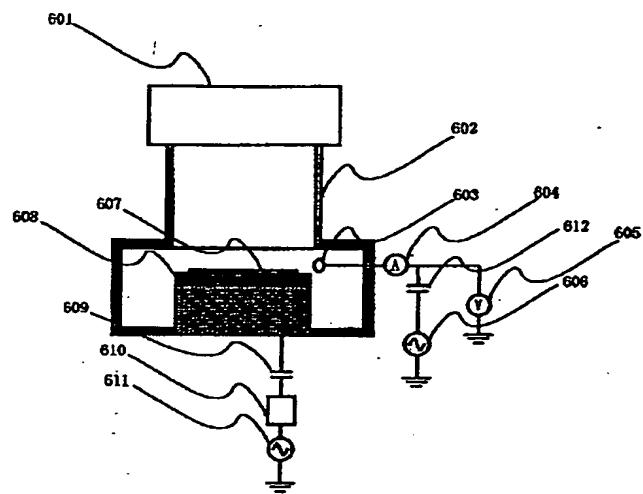


図6

---

フロントページの続き

(72)発明者 渡辺 成一

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会  
社日立製作所笠戸事業所内

Fターム(参考) 5F004 BA04 BA09 CB06 CB15